УДК 614.8
DOI 10.23947/2541-9129-2017-3-47-64

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВОЗМОЖНОСТНОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ОБЪЕКТ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ – ЗАЩИТА – НАСЕЛЕННЫЙ ПУНКТ»

Э. Г. Хорошун, Ю. В. Есипов

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

horoshun.rpn-eko@bk.ru
yu-yesipov5@yandex.ru,

В рамках параметрического моделирования проведен анализ уникальной системы «объект захоронения отходов – защита – населенный пункт» с позиции её потенциальной опасности. Установлены потенциальные вершинные исходы нарушения правил эксплуатации объекта захоронения отходов и разработана структурно-логическая модель их реализации. На основании полученных данных проведена апробация логико-возможностного метода экспресс-оценки системы «объект захоронения отходов – защита – населенный пункт» и получены значения возможностной меры реализации вершинного исхода для действующего объекта захоронения отходов. Разработана схема определения защитных мероприятий для снижения концентрации нитратов в грунтовых водах, на основании которой была установлена необходимость разработки инструкции по сбору и транспортированию фильтрата объекта захоронения отходов.

Ключевые слова: безопасность, система «объект захоронения отходов – защита – населенный пункт», случайное событие, вершинный исход, возможностная мера, параметрическая модель «воздействие-восприимчивость».

Введение. Одним из наиболее важных вопросов охраны окружающей среды в

UDC 614.8
DOI 10.23947/2541-9129-2017-3-47-64

METHOD DEVELOPMENT OF PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT OF THE TECHNICAL SYSTEMS «OBJECT OF WASTE DISPOSAL – PROTECTION – LOCALITY»

E. G. Khoroshun, Y. V. Esipov

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

horoshun.rpn-eko@bk.ru
yu-yesipov5@yandex.ru,

In the framework of parametric modeling, the paper provides the analysis of a unique system «object of waste disposal – protection – locality» from the perspective of its potential danger. It establishes the vertex set of the potential outcomes of violations of the rules of operation of waste disposal and develops a logical model for their realization. Based on the data the authors have tested the logic-probabilistic method of rapid assessment system "object of waste disposal – protection – locality" and got the resulting values of probabilistic realization of the vertex outcome for the current object of disposal. The scheme for determination of protective measures to reduce nitrate concentrations in groundwater was developed. On its basis, the authors have established the necessity to develop instructions for the collection and transportation of object of waste disposal infiltrate.

Keywords:: Protection, system «object of waste disposal – protection – locality», random event, vertex outcome, probabilistic measure, parametric model «influence – susceptibility»

Introduction. One of the most important issues of the environmental protection in the

Российской Федерации и в Ростовской области, остается вопрос обращения с отходами производства и потребления.

По данным официальной статистики ежегодно на территории области образуется около 5 млн т отходов. На переработку идет примерно четверть, остальное вывозится на специальные полигоны — объекты захоронения отходов.

Согласно сведениям из регионального кадастра отходов производства и потребления, включающим данные, представляемые органами местного самоуправления, на начало 2016 года на территории области расположено 616 объектов захоронения коммунальных отходов [1]. Из них:

1. Действующих (415) — 15 полигонов; 244 санкционированных и 129 несанкционированных свалок твердых коммунальных отходов.

2. Законсервированных (выведенных из эксплуатации) (214) — 214 свалок твердых коммунальных отходов.

Существующие объекты захоронения отходов характеризуются длительным и интенсивным негативным воздействием на окружающую среду. Обустройство и содержание объектов не соответствуют установленным законом требованиям [2].

Эксплуатация объектов захоронения отходов сопряжена определенным экологическим риском, в ходе оценки которого возникает ряд сложностей.

Система "объект захоронения отходов – защита – населенный пункт" является плохо статистически изученной системой.

Проблема предсказуемости и (или) оценки вероятности возникновения происшествия (заболевание, несчастный случай, авария, катастрофа) на уровне величины ниже доли процента в плохо статистически изученной системе является одной из актуальных задач как на этапе разработки, так и на этапе её эксплуатации [3]. Оценка и прогноз безопасности системы зависят как от глубины детализации раскрытия компонентов системы

Russian Federation and in the Rostov region is the question about production and consumer waste disposal.

According to official statistics, every year the region produces about 5 million tons of waste. For processing goes roughly a quarter of it, and the rest is transported to special landfills — waste disposal sites.

According to information from the regional cadaster of production and consumer waste, including the data submitted by local authorities, at the beginning of 2016 the region has 616 landfills of municipal waste [1]. Out of them:

1. Existing ones (415) — 15 sites; 244 129 authorized and unauthorized dumps of solid municipal waste.

2. Inactive ones (214) — 214 dumps of municipal solid waste.

Existing waste disposal sites are characterized by the prolonged and intense negative impact on the environment. The construction and maintenance of facilities do not meet the statutory requirements [2].

Operation of waste disposal sites carries a certain environmental risk, the assessment of which has a number of challenges.

The system of "object of waste disposal – protection – locality" is a poorly statistically studied system.

The problem of predictability and (or) assessment of the probability of occurrence of the incident (illness, accident, crash, disaster) at the value level below one percent in statistically badly studied system is one of the urgent tasks at the development stage and at the stage of its operation [3]. The assessment and prediction of security of the system depend on the granularity of the system components "object of waste disposal – protection – locality", and the degree

"объект захоронения отходов – защита – населенный пункт", так и от степени изученности, полноты и достоверности информации о предпосылках происшествий, факторах и их связях относительно рассматриваемых вершинных исходов [4].

Концепция приемлемого риска уникальных систем предполагает методическое объединение предопределенности структурных связей компонентов и неполной предсказуемости областей варьирования параметров факторов и характеристик объекта системы. Вследствие этого концепция приемлемого риска получила дальнейшее развитие на основе разработки и применения двух взаимодополняющих методов логико-вероятностного метода анализа и оценки безопасности типовых систем и логико-возможностного метода экспресс-оценки уникальных систем [5].

Целью работы является адаптация логико-возможностного метода параметрического моделирования в уникальной системе «объект захоронения отходов – защита – населенный пункт» для оценки экологического риска эксплуатации опасных элементов с установлением мер управления, снижения опасности и последующая апробация адаптированного метода на действительном объекте с предложением решений достижения приемлемого экологического риска.

Теоретическая часть. На основании анализа алгоритма определения и последующего расчета показателей безопасности для системы "объект – защита – среда" установлено, что для системы "объект захоронения отходов – защита – населенный пункт" алгоритм определения и последующий расчет показателей экологической безопасности состоит из следующих задач:

1. Проанализировать варианты вершинных исходов (ВИ) негативного воздействия объекта размещения отходов на окружающую среду.
2. Установить предпосылки реализации ВИ.
3. Построить конструкцию логической модели реализации ВИ.

of knowledge, completeness and accuracy of the information on the preconditions of accident factors and their relationship with respect to the considered vertex outcomes [4].

The concept of acceptable risk of unique systems involves methodical connection of predetermination of the structural relationships of the components and the incomplete predictability of the parameters variation ranges of the factors and characteristics of the object of the system. As a result, the concept of the acceptable risk was further developed through the development and application of two complementary methods of logical and probabilistic method of analysis and safety assessment of typical systems and logical-probabilistic method of rapid assessment of unique systems [5].

The aim of this work is the adaptation of logical-probabilistic method of parametric modeling in the unique system "object of waste disposal – protection – locality" for ecological risk assessment of the operation of the hazardous elements and for establishing management measures, for risk reduction and subsequent testing of the adapted method on a valid object with a range of solutions to achieve acceptable environmental risk.

Theoretical part. Based on the analysis of the determination algorithm and the subsequent calculation of parameters of system "object – protection – environment" it was found that "the object of waste disposal – protection – locality" determination algorithm and the subsequent calculation of indicators of ecological security consists of the following tasks:

1. To review the options for vertex outcomes (VO) of the negative impact of waste disposal on the environment.
2. To establish the preconditions for the realization of VO.
3. To build the design of the logical model of realization of VO.

4. Рассчитать возможностные меры реализации случайных событий.

5. Построить возможностную форму функции реализации ВИ.

6. Подставить в неё возможностные меры реализации элементарных предпосылок.

7. Получить итоговый результат в виде возможностной меры реализации ВИ в системе "объект захоронения отходов-защита-населенный пункт" [6,7].

Размещение отходов, в том числе их захоронение, осуществляется на объектах, которые являются природоохранными сооружениями, обеспечивающими снижение или предотвращение негативного воздействия на окружающую среду.

Под экологическими аспектами захоронения отходов, в соответствии с общепринятым определением, следует понимать элементы деятельности по захоронению отходов и её результаты, которые, в конечном итоге, могут оказывать влияние на окружающую среду [8].

К основным экологическим аспектам при захоронении отходов производства и потребления могут относиться: изъятие земельных ресурсов или участков недр под строительство объекта; обращение с опасными для окружающей среды веществами; поступление загрязняющих веществ в геологическую среду подземных, водных объектов, горных пород, почву; поступление загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты и на близлежащие территории; выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Опосредованное воздействие на растительный и животный мир — биологическое загрязнение окружающей среды и вероятность возникновения пожаров (для отходов, выделяющих пожароопасные вещества, в том числе при длительном хранении) [9].

Основными причинами сложности определения конкретно реализуемых групп событий, связей между ними и конечного результата их реализации — вершинного исхода, является их большое количество и

4. To calculate probabilistic realization measures of random events.

5. To build the probabilistic form of the function of the realization of VO.

6. To put in it the probabilistic measures of realization of the basic preconditions.

7. To obtain the final result in the form of probabilistic realization of VO measures in the system "object of waste disposal-protection-locality" [6,7].

Waste disposal, including dumping, is carried out on the objects that are environmental structures that reduce or prevent negative impacts on the environment.

Under the environmental aspects of waste disposal, in accordance with the generally accepted definition, we should understand the elements of dumping activity and its results, which, ultimately, may impact on the environment [8].

The main environmental aspects in production and consumer waste disposal may include: withdrawal of natural resources or subsoil for construction of buildings; handling with environmentally hazardous substances; flow of pollutants into the geological environment of underground bodies, water bodies, rocks, soil; flow of pollutants into surface water objects and nearby territories; emissions of polluting substances in atmospheric air. Indirect effects on flora and fauna — biological pollution and risk of fire (waste, emit flammable substances, especially if stored for a long time) [9].

The main reasons for the difficulty of defining of specifically realized groups of events, connections between them and the result of their realization - the vertex outcome, is their large number and the presence of indirect causes and consequences of their realization.

Therefore, if we consider a system "object of

наличие косвенных причин и последствий их реализации.

Так, если рассматривать систему "объект захоронения отходов – защита – населенный пункт", то, опираясь на вышеперечисленные экологические аспекты, можно определить некоторые вероятные события, воздействующие на окружающую среду. Представление экологических аспектов, как предпосылок происшествий и исходов загрязнения, сведено в таблицу 1.

waste disposal – protection – locality", then, based on the above mentioned ecological aspects, it is possible to determine some plausible events, which have impact on the environment. Presentation of environmental aspects as preconditions of accidents and pollution outcomes are summarized in table 1

Table 1
Таблица 1

Примеры связи экологических аспектов захоронения отходов и предпосылок происшествий как случайных событий

Examples of the connection of the environmental aspects of waste disposal and accidents preconditions as random events

Экологический аспект *Environmental aspects*	Случайное событие *Random event*
Обращение с опасными для окружающей среды веществами / *Handling environmentally hazardous substances*	Превышение установленных концентраций опасных для окружающей среды веществ / *Exceeding the concentrations of environmentally hazardous substances*
Поступление загрязняющих веществ в геологическую среду подземные водные объекты, горные породы, почвы / *The flow of pollutants into the geological environment and underground water bodies, rocks, soils*	Превышение установленных концентраций веществ в геологической среде подземных водных объектах, горных породах, почве / *Exceeding concentrations in the geological environment and underground water bodies, rocks, soil*
Поступление загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты поверхностные водные объекты и на близлежащие территории / *The flow of pollutants into the surface water bodies and surrounding areas*	Превышение установленных концентраций веществ в поверхностных водных объектах и на близлежащих территориях / *Exceeding concentrations in surface water bodies and nearby territories*
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух / *Emissions of polluting substances in atmospheric air*	Превышение установленных концентраций веществ в атмосферном воздухе / *Exceeding concentrations in natural air*
Биологическое загрязнение окружающей среды / *Biological pollution of the environment.*	Заболевания животных и населения / *Animal disease and people diseases*

На основании действующего законодательства, обустройство и содержание объектов захоронения отходов должно соответствовать установленным требованиям [10,11].

Если исходить из принципа, предполагающего безопасность эксплуатации объекта захоронения отходов при его соответствии указанным требованием, то на их основании можно выделить следующие основные значимые предпосылки происшествий в системе «объект захоронения – защита – населенный пункт»:

– отсутствие или некорректность учета климатогеографических и почвенных особенностей, геологических и гидрологических условий местности при выборе участка под устройство объекта захоронения отходов;

– отсутствие или некорректность санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии объекта захоронения отходов санитарным правилам;

– отсутствие или некорректность регламента и режима работы объекта захоронения отходов санитарным правилам

– отсутствие или некорректность инструкции по приему бытовых отходов, с учетом требований производственной санитарии для работающих на объекте захоронения отходов;

– отсутствие или некорректность контроля за составом поступающих отходов, учета поступающих отходов,

– отсутствие или некорректность контроля за распределением отходов в работающей части объекта, обеспечения технологического цикла по изоляции отходов;

– прием недопустимых к захоронению отходов;

– захоронение и обезвреживание твердых, пастообразных отходов промышленных предприятий (1–2 класса опасности), в которых содержатся токсичные вещества, тяжелые металлы, а также горючие и взрывоопасные

On the basis of the current legislation, the construction and maintenance of waste disposal sites must comply with the requirements [10, 11].

If we take the principle involving the safety of operation of object of disposal when it meets the specified requirement, then on that basis we can single out the following main significant determinants of accidents in the "object of waste disposal – protection – locality":

– the absence or incorrect accounting of climatic and soil characteristics, geological and hydrological conditions of the terrain when choosing a site for an object of waste disposal;

– the absence or incorrectness of the sanitary-epidemiological conclusion on the compliance of the object of waste disposal to sanitary rules;

the absence or incorrectness of the rules and mode of operation of a waste disposal sanitary rules

– the absence or incorrectness of the rules for consumer waste receiving, taking into account the requirements of industrial hygiene for workers at the waste disposal facility;

– the absence or incorrectness of control over the composition of the incoming waste, account of incoming waste,

– the absence or incorrectness of control over the distribution of waste in the operating part of the object, provision of technological cycle for the waste isolation;

– reception of unacceptable to disposal waste;

– burial and neutralization of solid, pasty industrial waste (1-2 class of danger), which contain toxic substances, heavy metals, and flammable and explosive wastes at the facilities, with violations of sanitary regulations on the

отходы, на объектах, организованных не в соответствии с санитарными правилами о порядке накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов;

– прием трупов павших животных, конфискатов боен мясокомбинатов на объекты захоронения отходов производства и потребления;

– прием твердых отходов лечебно-профилактических учреждений с нарушением правил сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений;

– сбор вторичного сырья непосредственно из мусоровозного транспорта;

– сортировка и селективный сбор отходов при нарушении санитарно-гигиенических требований.

Для населенного пункта экологическая обстановка может классифицироваться по возрастанию степени экологического неблагополучия следующим образом [12]:

– относительно удовлетворительная;

– напряженная;

– критическая;

– кризисная (или зона чрезвычайной экологической ситуации);

– катастрофическая (или зона экологического бедствия).

Результатом указанных случайных событий может стать приобретение населённым пунктом признаков территории крайней степени неблагополучия [13]. Для определения критериев качества окружающей среды, классифицирующих территорию как напряженную и критическую, требуются дополнительные исследования.

Структурно-логическая модель реализации вершинных исходов в системе "объект захоронения отходов – защита – населенный пункт" представлена на рис. 1.

procedure for accumulation, transportation, neutralization and burial of toxic industrial wastes;

– the reception of the corpses of fallen animals, condemned material of meat processing plants on the objects of production and consumer waste disposal;

– reception of solid waste from medical institutions with violation to the rules of collection, storage and waste disposal of medical and preventive treatment institutions;

– reception of recyclable materials directly from refuse collection lorry;

– sorting and selective collection of waste with violation to health and sanitation requirements.

For a settlement the environmental situation can be classified in ascending order of ecological trouble in the following way [12]:

– relatively satisfactory;

– tense;

– critical;

– crisis (or zone of emergency ecological situation);

– catastrophic (or the zone of ecological disaster).

The result of these random events can be acquiring by the settlement the characteristics of the territory of a state of extreme distress [13]. More research is needed to be conducted to determine the criteria of the environmental quality, classifying the territory as tense and critical.

Structural and logical model of implementation of vertex outcomes in the system of "object of waste disposal – protection – locality" is represented in Fig. 1.

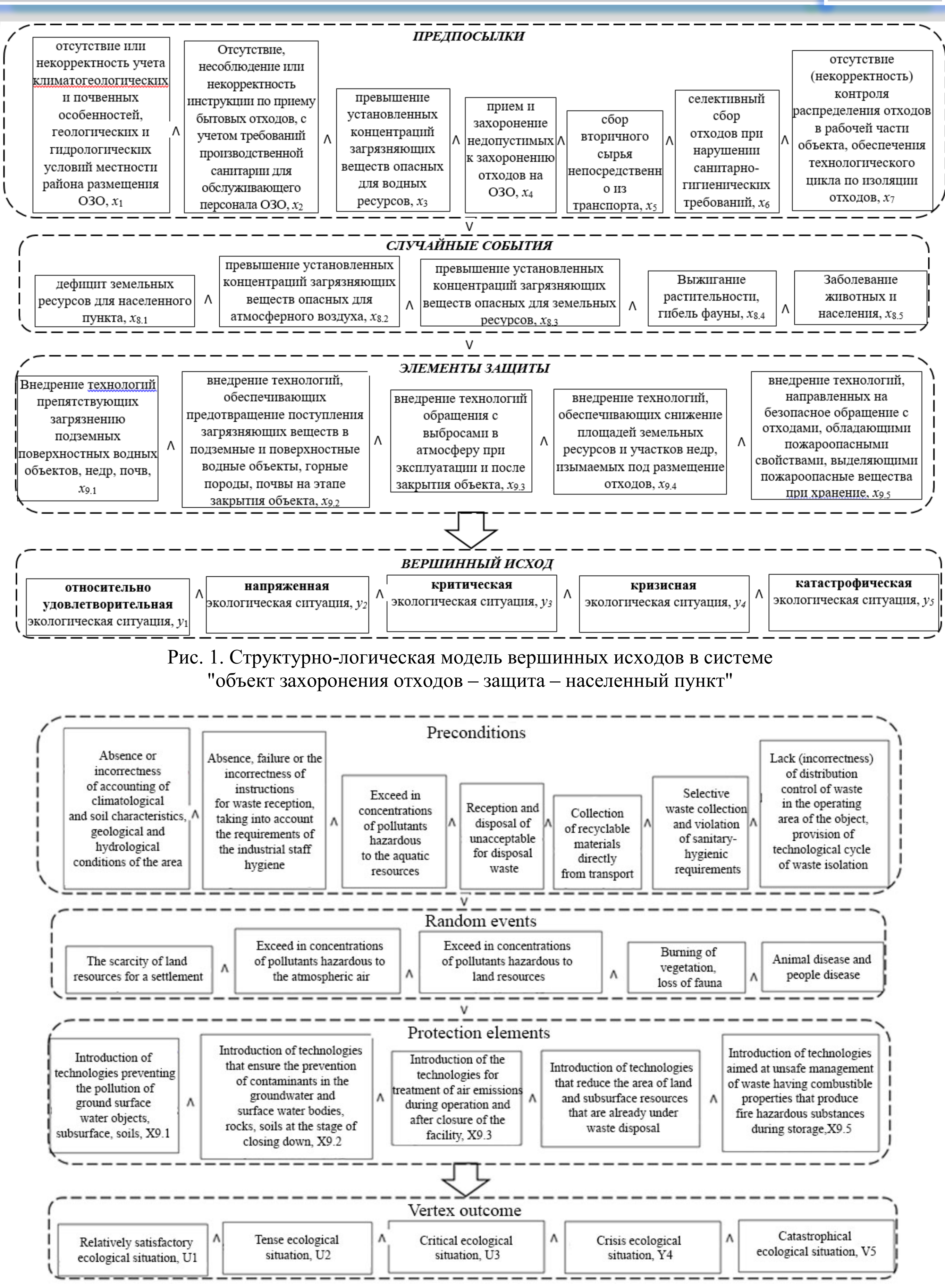


Рис. 1. Структурно-логическая модель вершинных исходов в системе "объект захоронения отходов – защита – населенный пункт"

Fig. 1. Structural and logical model of vertex outcomes in the system of "object of waste disposal – protection – locality"

Экспериментальная часть.

На основании анализа лабораторных исследований, проведенных в рамках производственного контроля и мониторинга состояния окружающей среды объекта размещения отходов ООО "Южный город" [14], было выявлено, что при эксплуатации объекта размещения отходов существуют предпосылки возникновения следующих случайных событий, реализация которых с некоторой долей вероятности может привести к следующим вершинным исходам, далее соответственно обозначенных как ВИ1; ВИ2; ВИ3: относительно удовлетворительная экологическая ситуация (ОУЭС); чрезвычайная экологическая ситуация (ЧЭС); экологическое бедствие (ЭБ) [13].

Для оценки степени безопасности эксплуатации объекта размещения отходов, а также для разработки и обоснования применяемой защиты авторами решалась задача расчёта возможностной меры реализации каждого из вершинных исходов.

При анализе было принято, что структурно-логическая функция наступления каждого из вершинных исходов (ВИ1, ВИ2 и ВИ3) обусловлена полным множеством описываемых предпосылок $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_{8,i}, x_{9,i}\}$, представлена на рис. 1 и имеет следующий вид:

$$y = x_1 \cap x_2 \cap x_3 \cap x_4 \cap x_5 \cap x_6 \cap x_7 \cup (x_{8.1} \cap x_{8.2} \cap x_{8.3} \cap x_{8.4} \cap x_{8.5}) \cup (x_{9.1} \cap x_{9.2} \cap x_{9.3} \cap x_{9.4}) \quad (1)$$

В соответствии с протоколами испытаний и измерений показателей качества окружающей среды, в районе размещения ООО "Южный город" наиболее подвержены негативному воздействию оказываются грунтовые воды, в которых наблюдается превышение нитратов, что является индикатором экологической ситуации [13,14]. Как и многие другие химические вещества, нитраты оказывают на биоцинозы двоякое воздействие: с одной стороны — это обязательный компонент питания растений. С другой стороны, при существенном избытке нитратов, в том числе в грунтовых водах,

Experimental part.

Based on the analysis of laboratory studies conducted in the framework of production control and monitoring of the state of the environment of "South city" disposal facility [14], it was found that in the operation of the disposal facility there are preconditions for the following random events, which with some probability may lead to the next vertex outcomes, which are respectively denoted as VO1; VO2; VO3: relatively satisfactory ecological situation (RSES); environmental emergencies (EE); environmental disaster (ED) [13].

To assess the degree of safety of operation of the disposal facility and to develop and justify the protection the authors have addressed the problem of computing of probabilistic measure of implementation of each of the vertex outcomes.

In the analysis it was decided that the structural-logical function of occurrence of each vertex outcome (VO1, VO2, and VO3) is due to the complete set of the described preconditions $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_{8,i}, x_{9,i}\}$, represented in Fig. 1 and has the following form:

$$y = x_1 \cap x_2 \cap x_3 \cap x_4 \cap x_5 \cap x_6 \cap x_7 \cup (x_{8.1} \cap x_{8.2} \cap x_{8.3} \cap x_{8.4} \cap x_{8.5}) \cup (x_{9.1} \cap x_{9.2} \cap x_{9.3} \cap x_{9.4}) \quad (1)$$

In accordance with the protocols of tests and measurements of indicators of environmental quality in the area of "South city" the most vulnerable to the negative impact are ground waters which have nitrate exceeding, which is an indicator of the ecological situation [13, 14]. Like many other chemicals, nitrates have a twofold impact on biocenosi: on the one hand, they is necessary elements of plant nutrition. On the other hand, with a substantial excess of nitrate, including the groundwater, there is a danger to animals and humans. According to the effect on

возникает опасность для животных и человека. По влиянию на здоровье человека различают: первичную токсичность нитрат-иона; вторичную, связанную с образованием нитрит-иона и третичную, обусловленную образованием из нитритов и аминов нитрозаминов. Сами нитраты относятся к умерено опасным веществам (III класс опасности), но под действием микрофлоры кишечника идет восстановление их в нитриты, которые во много раз токсичнее. Нитриты относятся к высокоопасным веществам – II класс опасности [17].

Расчет возможностной меры отравления вредными загрязняющими веществами производился следующим образом.

Параметрическая модель условий превышения параметров воздействия над параметрами восприимчивости для трех возможных исходов на примере действия нитратов в грунтовых водах представлена на рис. 2.

human health, we can distinguish the primary toxicity of nitrate ion; secondary toxicity connected with the formation of the nitrite-ion, and tertiary toxicity, due to the formation of nitrites, amines and nitrosamines. The nitrates themselves belong to moderately hazardous substances (III hazard class), but under the influence of the intestinal microflora there is the restoration of them to nitrites, which are many times more toxic. Nitrites are highly hazardous chemicals – II hazard class [17].

The calculation of probabilistic measures of poisoning of harmful pollutants is carried out in the following way.

The parametric model of excess terms of parameters of influence over the receptivity parameters for the three possible outcomes on the example of nitrates action in the groundwater is shown in Fig. 2.

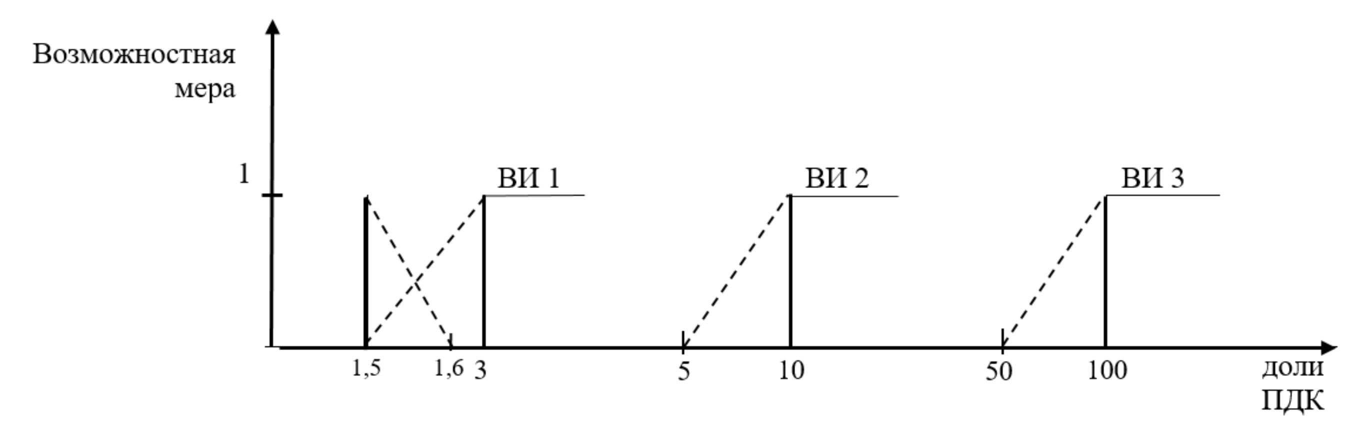


Рис. 2. Иллюстрация трёх вершинных исходов на примере действия нитратов в грунтовых водах

Fig. 2. Illustration of three vertex outcomes on the example of nitrates action in the groundwater

Алгоритм подготовки и получения исходных данных для расчета возможностных мер возникновения трех вершинных исходов на примере действия нитратов в грунтовых водах содержит следующие этапы.

1) Выбор значений параметра восприимчивости, а также погрешностей его представления для следующих вершинных исходов.

Вершинный исход ВИ1 — относительно

The algorithm for preparation and obtaining source data for the calculation of probabilistic measures of occurrence of three vertex outcomes on the example of nitrates action in the groundwater includes the following steps.

1) The choice of susceptibility parameter values, as well as errors in its representation to the next vertex outcomes.

The vertex outcome VO1 is a relatively

удовлетворительная экологическая ситуация. Восприимчивость к ОУЭС выражается через значение долей ПДК —

n_i = 1(ПДК). Абсолютная погрешность представления параметра восприимчивости:

$$\Delta_i = \delta \times n_i = 0{,}5 \times 1 = 0{,}5 \text{ (ПДК)}.$$

Вершинный исход ВИ2 — чрезвычайная экологическая ситуация. Восприимчивость к ЧЭС выражается через определенное пороговое значение долей ПДК — n_i = 10(ПДК). Абсолютная погрешность представления параметра восприимчивости [13]:

$$\Delta_i = \delta \times n_i = 0{,}5 \times 10 = 5 \text{ (ПДК)}.$$

Вершинный исход ВИ3 — экологическое бедствие. Восприимчивость к ЭБ выражается через определенное пороговое значение долей ПДК n_i = 100(ПДК); абсолютная погрешность представления параметра восприимчивости к ЭБ [13]:

$$\Delta_i = \delta \times n_i = 0{,}5 \times 100 = 50 \text{ (ПДК)}.$$

2) Измерение значений параметра воздействия *s* принято на основании [14]: $n_{изм}$ = 8,37 (ПДК) и абсолютной погрешности Δ_S его представления, значение которой соответствует погрешности способа, которым проводились испытания грунтовых вод [15]: $\Delta_S = \delta \times n_i = 0{,}2 \times 8{,}37 = 1{,}67$ (мг/м^3).

3) Расчет приведенного параметрического запаса безопасности: $z\overline{b_i} = 0{,}42$.

4) Расчет возможностной меры ОУЭС: $\pi_i = 1 - z\overline{b_i} = 0{,}58$.

Аналогично были получены исходные данные и результаты расчета для других вершинных исходов от действия оксида углерода, формальдегида и ацетальдегида, которые сведены в таблицу 2.

satisfactory ecological situation. Susceptibility to RSES is expressed through the value of the parts of MPC —

n_i = 1 (MPC). The absolute error of representation of the susceptibility parameter:

$$\Delta_i = \delta \times n_i = 0{,}5 \times 1 = 0.5 \text{ (MPC)}.$$

The vertex outcome VO2 is an extraordinary environmental situation. Susceptibility to the EE is expressed through a certain threshold value of parts of MPC — n_i = 10 (MPC). The absolute error of representation of the susceptibility parameter [13]:

$$\Delta_i = \delta \times n_i = 0{,}5 \times 10 = 5 \text{ (MPC)}.$$

The vertex outcome VO3 — environmental disaster. Susceptibility to ED is expressed through a certain threshold value of parts of MPC n_i = 100 (MPC); the absolute error of representation of the susceptibility parameter to ED [13]:

$$\Delta_i = \delta \times n_i = 0{,}5 \times 100 = 50 \text{ (MPC)}.$$

2) Measurement of values of the exposure parameter s are usually conducted on the basis of [14]: $n_{изм}$ = of 8,37 (MPC) and the absolute error Δ_S of its representation, the value of which corresponds to the error of the way in which groundwater tests were conducted [15]: $\Delta_S = \delta \times n_i = 0{,}2 \times 8{,}37 = 1.67$ (mg/m^3).

3) The calculation of the parametric safety margin: $z\overline{b_i} = 0{,}42$

4) The calculation of RSES probabilistic measures: $\pi_i = 1 - z\overline{b_i} = 0{,}8$.

Similarly, we obtained the raw data and the calculation results for the other vertex outcomes from the action of carbon monoxide, formaldehyde, and acetaldehyde, which are summarized in Table 2.

Таблица 1
Table 2

Расчетные значения возможностной меры трёх вершинных исходов при эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду
The calculated values of the probabilistic measures of three vertex outcomes in the emission of pollutants into the environment.

	Негативный фактор, концентрация *n*, [доли ПДК] *Negative factor, concentration n,*	Вершинный исход (*i*=1,2,3) *Vertex outcome (i=1,2,3)*	Нижняя граница восприимчивости *Lower susceptibility threshold* $\overline{r_1} - \Delta^i_R$	Верхняя граница воздействия *Upper impact limit* $\overline{s_1} + \Delta^i_S$	Запас безопасности *Safety margin* $\overline{zb}_i$	Возможностная мера *Probabilistic measure* π_i
Атмосферный воздух / *Natural air*	Оксид углерода *Carbon monoxide*	ОУЭС / .RSES, *i*=1	1-0,5	1,02+0,51	0,49	0,51
		ЧЭС / .EE, *i*=4	8-4		-	-
		ЭБ / .ED, *i*=5	12-6		-	-
	Аммиак *Ammonia*	ОУЭС / .RSES, *i*=1	1-0,5	1+0,5	0,5	0,5
		ЧЭС / .EE, *i*=4	8-4		-	-
		ЭБ / .ED, *i*=5	12-6		-	-
	Сероводород *Hydrogen sulfide*	ОУЭС / .RSES, *i*=1	1-0,5	1+0,5	0,5	0,5
		ЧЭС / .EE, *i*=4	3-1.5		-	-
		ЭБ / .ED, *i*=5	5-2,5		-	-
	Бензол *Benzene*	ОУЭС / .RSES, *i*=1	1-0,5	1+0,5	0,5	0,5
		ЧЭС / .EE, *i*=4	3-1,5		-	-
		ЭБ / .ED, *i*=5	5-2,5		-	-
Грунтовые воды /*Ground water*	Нитраты *Nitrates*	ОУЭС / .RSES, *i*=1	3-1,5	8,37+1,67	0,42	0,58
		ЧЭС / .EE, *i*=4	10-5		-	-
		ЭБ / .ED, *i*=5	100-50		-	-
Земельные ресурсы / *Natural resources*	Цинк *Zinc*, Свинец *Lead*, Ртуть *Mercuru*, Свинец *Lead*, Медь *Copper*, Никель *Nikel*, Мышьяк *Arsenic* } Показатель химического загрязнения почвы, Zc *Indicator of chemical contamination of soil, Zc*	ОУЭС / .RSES, *i*=1	16-8	8,68+4,34	0,94	0,06
		ЧЭС / .EE, *i*=4	32-16		-	-
		ЭБ / .ED, *i*=5	128-64		-	-
	Содержание яиц гельминтов *Content of helminth eggs*	ОУЭС / .RSES, *i*=1	отсутствие *Absence*	отсутствие *Absence*	0,5	0,5
		ЧЭС / .EE, *i*=4	10-5		-	-
		ЭБ / .ED, *i*=5	100-50		-	-
	Число патогенных микроорганизмов *Number of pathogenic microorganisms*	ОУЭС / .RSES, *i*=1	отсутствие *Absence*	отсутствие *Absence*	0,5	0,5
		ЧЭС / .EE, *i*=4	10^5-50000		-	-
		ЭБ / .ED, *i*=5	10^6-500000		-	-

Анализ полученных результатов (см. строку «Нитраты») показывает, что возможностная мера реализации вершинного исхода — относительно удовлетворительная экологическая ситуация (ОУЭС) равна 0,58. Фактически это означает, что более чем половина населения находится на границе ухудшения самочувствия от негативного воздействия нитратов.

Ввиду того, что технологический процесс захоронения отходов на полигоне ООО «Южный город» предполагает сбор и удаление фильтрата через систему перфорированных трубок с последующим вывозом специализированными организациями для его обезвреживания, а тело полигона герметично и изолировано от контакта с компонентами окружающей среды, есть несколько вариантов возникновения превышения концентрации нитратов в процессе эксплуатации объекта, в зависимости от которых необходимо выбрать защитные мероприятия. Схема защитных мероприятий представлена на рис. 2.

The analysis of the obtained results (see the line "Nitrates") shows that the probabilistic measure of vertex outcome is a relatively satisfactory ecological situation (RSES) and is equal to 0.58. Practically, this means that more than half of the population is on the border of feeling unwell from the negative effects of nitrates.

Due to the fact that the technological process of waste disposal at "South city" landfill involves the collection and removal of filtrate through the system of perforated tubes with the following removal of it by the specialized organizations for its neutralization, and the body of the landfill is leak-proof and isolated from the contact with components of the environment, there are several variants of occurrence of the excess concentrations of nitrates in the process of operation of the facility, depending on which one need to choose protective measures. The scheme of protective measures is shown in Fig. 2.



Рис. 2. Схема определение защитных мероприятий для снижения концентрации нитратов в грунтовых водах

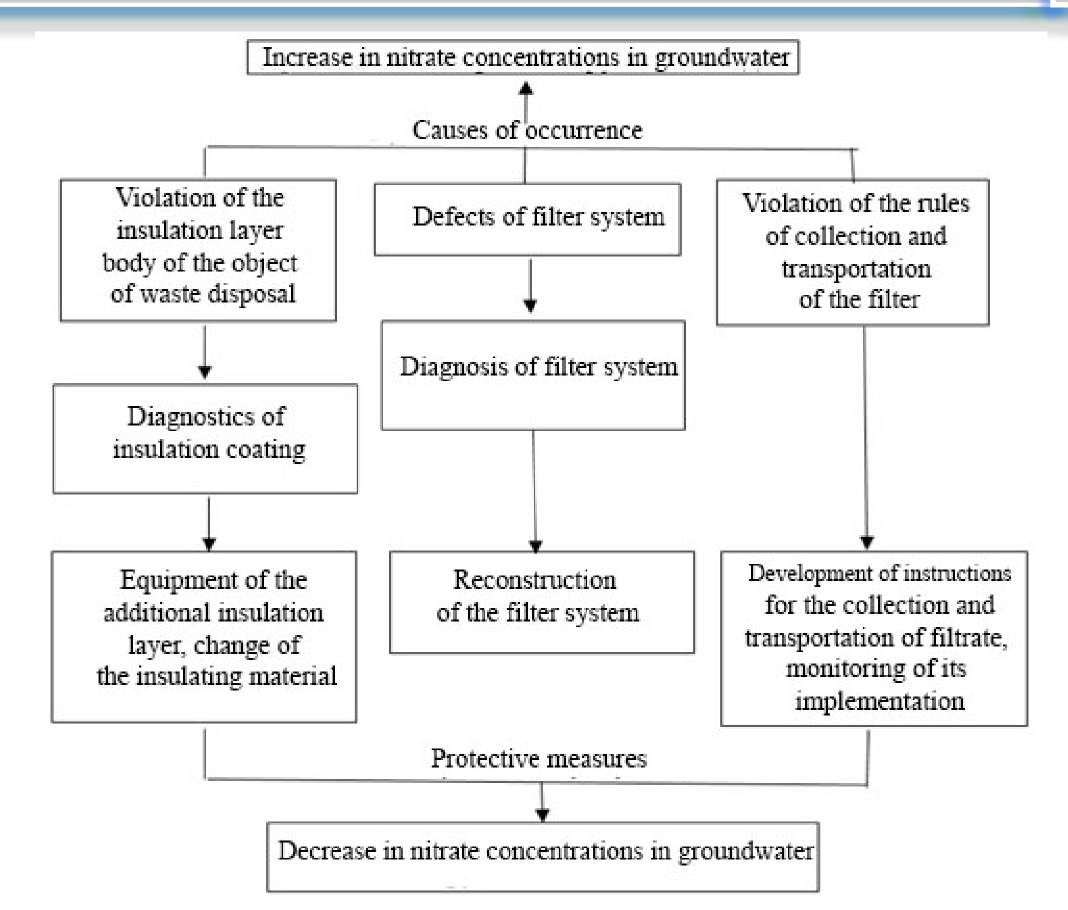


Fig. 2. The scheme of protective measures to reduce nitrate concentrations in the groundwater

Так как при диагностировании фильтратотводящей системы и изоляционного слоя полигона ООО «Южный город» не выявили значимых дефектов и нарушений, авторами был разработан проект инструкции сбора и транспортирования фильтрата. В результате исполнения требований указанной инструкции, при условии корректности проведенной диагностики, расчетное значение возможностной меры наступления удовлетворительной экологической ситуации составит не менее 0,91.

Выводы.

В результате исследований была проведена адаптация логико-возможностного метода параметрического моделирования в уникальной системе «объект захоронения отходов-защита-населенный пункт» для оценки экологического риска эксплуатации опасных элементов с установлением мер управления и снижения опасности. Указанный метод может применятся в условиях ограниченности и малой изученности исходных данных в любой

Since the diagnosis of filtrate removing system and the insulating layer of "South city" landfill has not identified any significant flaws and inconsistencies, the authors have developed the draft guidelines for filtrate collection and transportation. As a result of instruction requirements fulfillment provided that the diagnosis was correct, the estimated value of the probabilistic measures of the onset of a satisfactory ecological situation will be at least 0.91.

Conclusion.

In the investigation there has carried out the adaptation of the logical-probabilistic method of parametric modeling in the unique system of "object of waste disposal-protection-locality" for ecological risk assessment of the operation of hazardous elements in order to establish management measures and reduce the risk. This method can be applied in the context of limited and poor knowledge of source data in

действительной системе, состоящей из элементов — объект захоронения отходов, населенный пункт. Результаты проведенной апробации адаптированного логико-возможностного метода параметрического моделирования в рамках системы «полигон твердых бытовых отходов ООО «Южный город» – участок селитебной территории» могут быть использованы при выявлении идентичных факторов повышенной опасности. Это позволит значительно упростить определение и снижение экологического риска рассматриваемой системы.

any system, consisting of the object of waste disposal and the locality. The results of the testing of the adapted logical-probabilistic method of parametric modeling in the framework of "solid waste landfill "South city" – part of the residential district" can be used for the detection of identical factors of high risk. This will greatly simplify identifying and reducing of environmental risk of the system.

Библиографический список.

1. Экологический вестник Дона. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2015 году [Электронный ресурс] / под ред. В. Н. Василенко, Г. А. Урбана. — Ростов-на-Дону. — 2016. — 369 с. — Режим доступа : http://ecodon.dspl.ru/docs/ЭкоВестник%20Дона.pdf (дата обращения 13.02.2017).
2. Обращение с отходами [Электронный ресурс] / Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Ростовской области/состояние окружающей среды — Режим доступа : http://минприродыро.рф/state-of-the-environment/otkhody/ (дата обращения: 20.02.2017).
3. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, Г. М. Черкесов. — Москва : Радио и связь, 1981. — 263 с.
4. Есипов, Ю. В. Мониторинг и оценка риска систем «защита–объект–среда» / Ю. В. Есипов, Ф. А. Самсонов, А. И. Черемисин. — 3 изд. — Москва : Изд. ЛКИ-УРСС, 2013. — 138

References.

1. Ekologicheskiy vestnik Dona. O sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov Rostovskoy oblasti v 2015 godu. Pod red. V. N. Vasilenko, G. A. Urbana. [Don ecological bulletin. On the state of the environment and natural resources of the Rostov region in 2015. Ed. by V.N. Vasilenko, G.A. Urban.] Rostov-on-Don, 2016, 369 p. Available at: http://ecodon.dspl.ru/docs/ЭкоВестник%20Дона.pdf (accessed 13.02.2017) (in Russian).
2. Obrashchenie s otkhodami. Ofitsial’ny sayt Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rostovskoy oblasti. [Waste management. Official site of The Ministry of natural resources and environment of the Rostov region.] Available at: http://минприродыро.рф/state-of-the-environment/otkhody/ (accessed: 20.02.2017) (in Russian).
3. Ryabinin, I.A., Cherkesov, G.M. Logiko-veroyatnostnye metody issledovaniya nadezhnosti strukturno-slozhnykh sistem. [Logical and probabilistic methods of research of reliability of structurally complex systems.] Moscow, Radio i svyaz’, 1981, 263 p. (in Russian).
4. Esipov, Y.V., Samsonov, F.A., Cheremisin, A.I. Monitoring i otsenka riska sistem "zashchita – ob’ekt – sreda". [Monitoring and risk assessment of systems "protection–object–environment".] Moscow, Izd. LKI-URSS, 2013, 138 p. (in Russian).
5. Esipov, Y.V., Lapsar, A.P. Razrabotka metoda sistemnogo analiza potentsial’noy

с.

5. Есипов, Ю. В. Разработка метода системного анализа потенциальной опасности комплекса «технический объект–нерегламентированные факторы окружающей среды» / Ю. В. Есипов, А. П. Лапсарь // Надежность и контроль качества. — 1997. — № 11. — С. 17–21.

6. Есипов, Ю. В. Концепция возможностной оценки риска техногенных систем / Ю. В. Есипов // Автоматика и Телемеханика. — 2003. — № 7. — С. 5–12.

7. Есипов, Ю. В. Моделирование опасностей и установление меры определенности происшествия в системе / Ю. В. Есипов // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2003. — № 3. — С. 112–117.

8. ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство к применению / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Москва : Стандартинформ, 2016. — 39 с.

9. ИТС 17–2016. Размещение отходов производства и потребления / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Москва : Бюро НДТ, 2016. — 181 с.

10. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: федер. закон: [утв. Министерством здравоохранения Российской Федерации 30 мая 2001 г.] / Доступ из справочно-правовой системы «Консультант Плюс». — 2016. — 25с.

11. Инструкции по проектированию,

opasnosti kompleksa "tekhnicheskiy ob’ekt – nereglamentirovannye faktory okruzhayushchey sredy". [Development of a method of system analysis of potential hazards of the complex "technical object–ad hoc environmental factors".] Nadezhnost’ i kontrol’ kachestva, 1997, no. 11, pp. 17-21 (in Russian).

6. Esipov, Y.V. Kontseptsiya vozmozhnostnoy otsenku riska tekhnogennykh system. [Concept of the probabilistic risk assessment of technological systems.] Avtomatika i Telemekhanika, 2003, no. 7, pp. 5-12 (in Russian).

7. Esipov, Y.V. Modelirovanie opasnostey i ustanovlenie mery opredelennosti proisshestviya v sisteme. [Modeling of risks and the establishment of measures of certainty of accidents occurrence in the system.] Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin, 2003, no. 3, pp. 112-117 (in Russian).

8. GOST R ISO 14001-2016. Sistemy ekologicheskogo medezhmena. Trebovaniya i rukovodstvo k primeneniyu. Federal’noe agenstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. [GOST R ISO 14001-2016. Environmental management system. Requirements with guidance for use. Federal agency for technical regulation and metrology.] Moscow, Standartinform, 2016, 39 p. (in Russian).

9. ITS 17-2016. Razmeshchenie otkhodov proizvodstva i potrebleniya. Federal’noe agenstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. [ITS 17-2016. Disposal of waste production and consumption. Federal agency for technical regulation and metrology.] Moscow, Byuro NDT, 2016, 181 p. (in Russian).

10. O sanitarno-epidemologicheskom blagopoluchii naseleniya: feder. zakon. [utv. Ministerstvom zdravookhraneniya Rossiyskoy Federatsii 30 Maya 2001. Dostup iz spravochno-pravovoy sistemy “Konsul’tant Plyus”. [On the sanitary-epidemiological welfare of the population. Feder. law: [appr. by The Ministry of health of the Russian Federation on May 30, 2001.] Access from reference legal system "Consultant Plus".] 2016, 25 p. (in Russian).

11. Instruktsii po proektirovaniyu, ekspluatatsii i rekul’tivatsii poligonov dlya tverdykh otkhodov: Instruktsiya. [utv.

эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых коммунальных отходов : Инструкция [утв. Министерством строительства Российской Федерации 05 ноября 1996 г.] // Доступ из справочно-правовой системы «Консультант Плюс». — 2016. — 39с.
12. Об охране окружающей среды: федер. закон [утв. Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации 20 деквбря 2001 г.] // Доступ из справочно-правовой системы «Консультант Плюс». — 2016. — 48 с.
13. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: Постановление [утв. Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации 30 ноября 1992 г.] // Доступ из справочно-правовой системы «Консультант Плюс». — 2016. — 59 с.
14. Отчет о результатах мониторинга на территории объекта размещения отходов ООО "Южный Город" и в пределах его воздействия на окружающую среду / под ред. Д.М. Кочкин. — Ростов-на-Дону : ООО «Южный город», 2016. — 38с.
15. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и очищенных сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза "Капель": ПНД Ф 14.1:2:4.157–99.

Ministerstvom stroitel’stva Rossiyskoy Federattsii 05 Noyabrya 1996. Dostup iz spravochno-pravovoy sistemy “Konsul’tant Plyus”.] [Instructions for designing, operating and reclaiming landfills for municipal solid waste: instruction. [appr. by The Ministry of construction of the Russian Federation on November 05, 1996.] Access from reference legal system "Consultant Plus".] 2016, 39p. (in Russian).
12. Ob okhrane okruzhayushchey sredy. Feder. zakon. [utv. Ministerstvom prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii 20 dekabrya 2001. Dostup iz spravochno-pravovoy sistemy “Konsul’tant Plyus”.] [On the environmental protection. Feder. law [app. by The Ministry of natural resources and ecology of the Russian Federation on December 20, 2001.] Access from reference legal system "Consultant Plus".] 2016, 48 p. (in Russian).
13. Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya: Postanovlenie. [utv. Ministerstvom prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii 30 noyabrya 1992. Dostup iz spravochno-pravovoy sistemy “Konsul’tant Plyus”.] [Criteria of evaluation of ecological situation of territories for revealing zones of extraordinary ecological situation and zones of ecological disasters: Resolution. [app. by The Ministry of natural resources and ecology of the Russian Federation on November 30, 1992.] Access from reference legal system "Consultant Plus".] 2016, 59 p. (in Russian).
14. Otchet o rezul’tatakh monitoringa na territorii ob’ekta razmeshcheniya otkhodov OOO “Yuzhny Gorod” i v predelakh ego vozdeystviya na okruzhayushchyyu sredu. Pod red. D.M. Kochkin. [Report on the results of monitoring on the territory of waste disposal facility "South City" and its impact on the environment. ed. by D. M. Kochkin.] Rostov-on-Don, "Yuzhny gorod", 2016, 38 p. (in Russian).
15. Kolichestvenny khimicheskiy analiz vod. Metoduka vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy khlorid-ionov, nitrit-ionov, sul’fat-ionov, nitrat-ionov, ftorid-ionov i fosfat-ionov v probakh prirodnykh, pit’evykh i ochishchennykh stochnykh vod s

Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия. — Москва : ЗАО «Роса», 2012. —12 с.

16. Есипов, Ю. В. Методы расчета показателей безопасности и риска / Ю. В. Есипов, Л. Е. Пустовая. А. И. Черемисин. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2016. — 84 с.

17. Новых, Л. Л. Влияние положения родников в ландшафтах на содержание нитратов в их водах / Л. Л. Новых, Ю. В. Юдина, Г. А. Орехова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия : Естественные науки. — 2012. — Т.18, № 3 (122) — С. 19–28.

primeneniem sistemy kapillyarnogo elektroforeza “Kapel’”. PND F 14.1:2:4.157–99. Federal’ny tsentr analiza i otsenki tekhnogennogo vozdeystviya. [Quantitative chemical analysis of waters. Measurements technique of mass concentration of chloride-ions, nitrite-ions, sulfate-ions, nitrate-ions, fluoride ions and phosphate ions in samples of natural, potable and treated wastewater using the system of capillary electrophoresis "Kapel". PND F 14.1:2:4.157–99. Federal center of analysis and assessment of anthropogenic impact.] Moscow, ZAO "Rosa", 2012, 12 p. (in Russian).

16. Esipov, Y.V., Pustovaya, L.E., Cheremisin, A.I. Metody rascheta pokazateley bezopasnosti i riska. [Methods of calculation of safety and risk indicators.] Rostov-on-Don, Izd. DSTU, 2016, 84 p. (in Russian).

17. Novykh, L.L., Yudina, Y.V., Orekhova, G.A. Vliyanie polozheniya rodnikov v landshaftakh na soderzhanie nitratov v ikh vodakh. [Impact of springs location on the landscape on the content of nitrates in their waters.] Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki, 2012, vol. 18, no. 3 (122), pp. 19-28 (in Russian).

Поступила в редакцию 28.04.2017
Сдана в редакцию 28.04.2017
Запланирована в номер 05.06.2017

Received 28.04.2017
Submitted 28.04.2017
Scheduled in the issue 05.05.2017

Хорошун Элина Григорьевна,
Аспирант Донского государственного технического университета,
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
horoshun.rpn-eko@bk.ru

Есипов Юрий Вениаминович,
Доктор технических наук Донского государственного технического университета,
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
yu-yesipov5@yandex.ru

Khoroshun Elina Grigorevna,
Post graduate student of Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
horoshun.rpn-eko@bk.ru

Esipov Yuriy Veniaminovich,
Doctor of techn. sciences *of Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)*
yu-yesipov5@yandex.ru